心理科学进展 2019, Vol. 27, No. 1, 27–36
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2019.00027

肢体识别的倒置效应*

张珂烨[1] 张明明[1] 刘田田[2] 罗文波[1] 何蔚祺[1]

([1]辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心, 大连 116029) ([2]上海师范大学教育学院, 上海 200234)

摘 要 肢体识别加工的研究常常以倒置肢体作为对象。肢体倒置效应是指, 与正立肢体相比, 人们识别倒置肢体的时间更长、正确率更低。该现象为探究肢体识别提供了新的思路。近些年, 研究者们使用多种技术考察了这一效应及肢体构形加工的特异机制与神经基础。其中, 头部信息在肢体倒置效应中的作用引起了一些研究者的争论。此外, 构形加工理论和构形加工连续量理论都肯定了构形加工在该效应产生中的作用, 但对于构形加工所包含的子成分还存在一些分歧。未来需要进一步拓展该领域的特殊群体研究, 揭示头部信息的具体作用, 完善相关理论解释以及探索更具有生态效度的肢体倒置效应。

关键词 肢体倒置效应; 头部信息; 构形加工理论; 构形加工连续量理论

分类号 B842

作为社会生活中的复杂知觉对象, 人类肢体能够像面孔一样, 为我们提供身份、年龄、性别、行为意图、吸引力和情绪等重要的社会信息(de Gelder, 2016)。虽然在早期研究中, 面孔一直占据着物体识别研究领域的主导地位。但是, 新近研究逐渐发现, 肢体和面孔在社会交往中具有同等重要的作用(de Gelder, 2016; 陈丽, 李伟霞, 张烨, 张庆林, 2015; 范聪, 陈顺森, 张灵聪, 罗文波, 2014)。甚至, 肢体在一些现实情境中能够扮演更为关键的角色。例如, 在远处、低光照或背后等条件下, 个体很难甚至不能观察识别到他人的面部特征, 此时肢体姿势形态的优势便会突显出来(Stein, Sterzer, & Peelen, 2012)。

将倒置效应(inversion effect)应用于物体识别研究的初期, 研究者们关注的焦点大多集中于区分面孔刺激与其他物体类别刺激的识别加工方式(如, 房屋、工具) (Yin, 1969)。大多研究者认为倒置效应是物体构形加工(configural processing)的一种标志, 即如果某类物体可以产生倒置效应, 那么可以判断人们识别这类物体时采用的是构形加工的方式。随着研究的深入和发展, 人们开始将在面孔刺激上取得的成果延伸到肢体刺激上, 并发现了相似的肢体倒置效应(body inversion effect), 即对倒置肢体的识别成绩显著低于对正立肢体的识别成绩。具体行为表现为: 与识别正立肢体相比, 人们识别倒置肢体的时间更长、正确率更低(Reed, Stone, Bozova, & Tanaka, 2003; Reed, Stone, Grubb, Mcgoldrick, 2006), 这也表明了将肢体倒置会有损或阻碍个体对肢体的识别加工。近些年, 事件相关电位(event-related potential, ERP)、功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)和经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)等技术的提高更是为研究者们探究肢体倒置效应以及正立肢体构形加工的特异机制与神经基础提供了可能。我们从梳理和回顾肢体倒置效应研究中主要的行为和脑机制证据出发并针对近期一些研究者们发现的完整肢体与无头肢体刺激在倒置效应中的不同表现及分歧, 着重探讨了有关头部信息在肢体倒置效应中的作用, 然后对肢体倒置效应的理论解释进行讨论; 通过对该领域尚待解决的问题以及可探究方向进行展望, 以期为今后相关研究提供一定的借鉴意义。

收稿日期: 2017-09-06

* 国家自然科学基金青年项目(81601166)、国家自然科学基金面上项目(31371033)和辽宁特聘教授课题项目(面孔表情加工情境效应的神经机制研究)支持。

通信作者: 何蔚祺, E-mail: weiqi79920686@sina.com

1 肢体倒置效应及其脑机制

1.1 经典的肢体倒置效应

肢体倒置效应最早由 Reed 等人(2003)发现，他们向被试呈现相同或不同的黑白面孔刺激对、3D 肢体刺激对(包括可能肢体和不可能肢体，biomechanically possible or impossible body postures)和房屋刺激对，这些刺激对一半正立，一半倒置。实验要求被试对这些刺激对的异同做出判断。研究结果显示，与房屋相比，人类面孔和可能肢体均产生了相似的倒置效应，即倒置条件下的正确率显著低于其正立条件，反应时间也更长；但不符合人体构造的肢体图片并未诱发出类似的倒置效应。随后，Reed 等人(2006)使用相同的实验设计，进一步比较了部分肢体(part body)与完整肢体(whole body)、乱序肢体(scrambled body)与完好肢体(intact body)、一半肢体(half body) (包括上/下半肢体和左/右半肢体)与完整肢体(whole body)刺激对所引发的倒置效应。结果发现，只有完整肢体和以垂直轴分割的左/右半肢体(左/右半肢体的头部姿势信息部分保留)产生了显著的倒置效应。

之后，研究者们使用了不同类型的刺激材料，如灰度真实人体图片(gray-scale figure，其面部信息进行了模糊化处理) (Arizpe, Mckean, Tsao, & Chan, 2017; Brandman & Yovel, 2010; Minnebusch, Suchan, & Daum, 2009; Mohamed, Neumann, & Schweinberger, 2011)、黑白化 3D 人体图片(black and white 3D figure，面孔身份信息相同) (Tao, Zeng, & Sun, 2014)，光点序列(point-light sequence) (Chang & Troje, 2009)等，其行为结果均支持了完整肢体的倒置效应。从该角度来看，肢体倒置效应具有跨刺激类型的一致性和较强的稳定性。

1.2 肢体倒置效应的脑机制

N170 是能够反映面孔倒置效应的一个重要 ERP 指标(Bentin, Allison, Puce, Perez, & Mccarthy, 2009; Rossion & Jacques, 2008)，前期大量研究发现，倒置面孔所诱发的 N170 波幅更大、潜伏期更长(Maurer, Le Grand, Mondloch, 2002; 汪海玲, 傅世敏, 2011)。之后的许多研究又证实了 N170 成分在肢体倒置效应中的作用。例如，Stekelenburg 和 de Gelder (2004)向被试呈现正立与倒置的面孔、完整肢体和鞋子，要求他们判断刺激材料的方向，并记录其脑电数据。实验结果显示，与正立面孔和肢体相比，倒置面孔和肢体所诱发的 N170 波幅更大、潜伏期更长。即，面孔倒置效应中特殊的 N170 变化也同样存在于肢体倒置效应中，并且该结果还得到了其他研究的验证和支持(Minnebusch et al., 2009; Mohamed et al., 2011; Tao et al., 2014)。因此，N170 的功能意义不仅存在于面孔加工中，还体现在肢体加工中。此外，肢体倒置时也发现了其他 ERP 成分的变化。例如，Mohamed 等人(2011)发现枕区 P100 成分(也称作 P1 成分)的波幅也增大了。这与 Itier 和 Taylo 对面孔倒置效应的研究结果相似(Itier & Taylor, 2004a, 2004b, 2004c)。P1 成分通常被认为与刺激的初级特征加工有关(Luck, 2014)。然而还有一些研究并未报告正立肢体和倒置肢体在 P1 成分上的显著差异(Minnebusch et al., 2009; Stekelenburg & de Gelder, 2004; Tao et al., 2014)，这可能与电极点的选择有关。当然，有关 P1 成分在肢体识别加工中的具体功能意义还有待未来进一步探究。

在脑成像研究中，人类面孔和肢体的特异性加工脑区已经被发现和证实。其中，面孔选择性区域主要包括枕叶面孔区(occipital face area)、梭状回面孔区(fusiform face area, FFA)和颞上沟(superior temporal sulcus) (Shao, Weng, & He, 2017; Yovel & Kanwisher, 2005)；肢体选择性区域主要包括外侧纹状体肢体区(extrastriate body area, EBA)和梭状回肢体区(fusiform body area, FBA) (Peelen & Downing, 2007; Soria & Suchan, 2015)。作为无创性刺激技术的代表，TMS 为肢体倒置效应的研究提供了新的思路。其基本原理在于影响局部神经元的放电活动，进而抑制或兴奋局部脑区，并可以维持一段时间(Lefaucheur et al., 2014)。Urgesi 等人(2007)利用 TMS 的这些优势，探究了大脑前运动区、视觉区域和顶叶区域在肢体构形加工中的因果作用。他们使用延迟匹配任务(delayed matching-to-sample task)向被试呈现正立和倒置的静态肢体图片(样本刺激，sample stimulus)，要求被试判断而后呈现的刺激对中哪一个与其相同，并于样本刺激呈现之后的 150 ms 在左腹侧前运动皮层(left ventral premotor cortex, vPMc)、右侧 EBA、右侧顶上小叶(right superior parietal lobe, SPL)和右侧初级视觉皮层(right primary visual cortex, V1)施加一个双脉冲(dual-pulse，间歇 100 ms)。结果发现，抑制 vPMc 显著降低了对于正立肢体匹配判断的准确率；相反，抑制 EBA

显著降低了判断倒置肢体准确率, 对正立肢体则无影响。而研究者普遍认为, 人们对正立肢体的识别采用的是构形加工方式, 倒置肢体识别采用的是特征加工方式。结合上述实验结果, 研究者认为, 完整肢体的构形加工与 vPMc 密切相关, 而 EBA 主要参与肢体的局部特征加工。

然而, 由于 FBA 位于大脑较深处, 研究者无法使用 TMS 技术探究其在肢体倒置效应中的作用。因此在之后的研究中, Brandman 和 Yovel (2010)使用了 fMRI 进一步研究了肢体选择性脑区和面孔选择性脑区在肢体识别加工中的作用机制。结果发现, EBA 和 FBA 对正立或倒置的完整肢体表现出了相似的激活程度, 而 FFA 对正立完整肢体刺激表现出了更大的适应效应(adaptation effect), 即与身份相同的配对正立肢体刺激相比, 当配对的正立肢体刺激身份不同时, FFA 的激活程度更强。之后的研究也支持了这一结果(Brandman & Yovel, 2016)。而且, 面孔选择性区域(尤其是 FFA)在以完整倒置肢体、无头正立肢体、无头倒置肢体图片作为刺激材料时均未表现出上述模式。结合 Yovel, Pelc 和 Lubetzky (2010)的行为学研究结果, Brandman 和 Yovel 认为, 面孔选择性区域在完整正立肢体中表现出的适应效应说明: 肢体倒置效应是由面孔(或头部)加工机制作用产生, 并非肢体加工机制, 而这在一定程度上说明了头部在人类完整肢体加工中的重要作用。

综上, 有三点值得我们深思: 第一, 结合上述肢体倒置效应的脑机制研究可知, 与肢体构形加工相关的脑区可能涉及 vPMc 和 FFA, 而与肢体局部特征加工相关的脑区可能涉及 EBA。其中, Brandman 和 Yovel (2010)的 fMRI 研究结果证明, 在肢体识别加工过程中, 是面孔(或头部)加工机制在起作用, 而不是肢体加工机制。但这似乎与前人研究发现的肢体选择性区域(EBA, FBA)在肢体知觉任务中的选择性反应及其功能意义(Peelen & Downing, 2007, Taylor, Wiggett & Downing, 2007)不完全一致。如, 在 Taylor 等人(2007)的实验中, 研究者通过操纵不同层次水平的肢体刺激(从单一手指到完整肢体)发现, FBA 可能与较大面积肢体或完整肢体的构形结构加工有密切相关; 第二, 在 Brandman 和 Yovel (2010)的这篇 fMRI 研究中, 研究者没有深入探究其他肢体部分缺失对肢体倒置效应的影响, 只探讨了完整肢体和无头肢体两种刺激材料情况, 因此基于此实验结果而得出“头部在完整肢体加工中扮演核心角色”这一结论尚缺乏说服力; 第三, 头部姿势信息和头部轮廓信息是两个不同的方面, 该研究对完整肢体和无头肢体的探究属于对头部轮廓信息的操纵, 并没有进一步控制头部姿势信息, 对头部姿势固定的完整肢体进行实验论证。因此未来研究也可以从这几个角度入手, 全面探讨肢体各部分和完整肢体知觉加工的神经机制, 以及肢体选择性区域和面孔选择性区域在肢体识别加工中的功能意义。

2　头部信息在肢体倒置效应中的作用

如前所述, Brandman 和 Yovel (2010)的 fMRI 研究结果显示, FFA 仅在完整正立肢体中表现出适应效应, 当肢体倒置或无头时均未表现出该模式, 因此推断肢体倒置效应是由面孔加工机制作用产生, 头部信息在人类肢体加工中其重要作用。然而最早对肢体刺激进行操纵, 探究头部信息在倒置效应中的作用的是 Minnebusch 等人(2009)的研究。

Minnebusch 等人(2009)将肢体图片的整个头部去除, 并且采用了与 Reed 等人(2003)相似的实验流程, 直接比较了被试对正立和倒置的无头肢体(headless body)与完整有头肢体(whole body)刺激对的识别成绩和脑电变化。结果发现, 完整肢体识别的行为数据表现出了显著的倒置效应, 并且倒置完整肢体诱发了更大波幅、更长潜伏期的 N170。然而, 无头肢体刺激却产生了“倒置效应的反转”, 即倒置无头肢体的识别成绩显著优于正立无头肢体, 正立无头肢体诱发了更大波幅的 N170 成分。这说明, 肢体似乎和面孔一样, 是一类特殊刺激物, 拥有特异的加工机制并由专门的神经元区域负责加工处理, 而这些区域至少部分地与面孔或物体加工区域相分离。同时, 该倒置效应的反转现象可能与两点原因有关: 第一, 构形加工可能对于有头肢体识别比较重要; 第二, 就无头肢体而言, 其最显著的识别线索是它们脚的位置或形状, 而这对于倒置的无头肢体刺激来说可能更加突出, 因此倒置无头肢体的识别成绩更好。

随后, Yovel 等人(2010)进一步探究了无头肢体刺激为什么会引起不同结果的原因。他们提出了两个假设: 第一, 任何类型的不完整肢体均会

导致倒置效应的消失；第二，头部信息在肢体识别中起着特殊作用。其实验 2 比较了正立和倒置的完整肢体与无头肢体刺激对的识别成绩，仅发现了显著的完整肢体倒置效应，并未发现与 Minnebusch 等人(2009)报告中类似的无头肢体倒置效应的反转现象。实验 3 对无两条胳膊肢体(armless body)和无一条腿肢体(legless body)刺激对进行了比较，均发现了倒置效应，因此否定了假设一。在实验 5 中比较了头部变化肢体(varied-head body)和头部固定肢体(fixed-head body)刺激对，前者保持胳膊和腿部不变，更换头部，后者反之。结果发现，两种类型肢体刺激均产生了显著的倒置效应，但是头部固定肢体的倒置效应没有头部变化肢体大。结合前面的实验结果，Yovel 等人(2010)认为，头部信息对于肢体识别有着重要作用，当人们不能利用这一线索时，其识别成绩将会显著下降。同样, Mohamed 等人(2011)使用无头肢体刺激进行的实验研究发现了相似结果。综合以上实验和 Reed 等人(2006)的研究结果(发现完整肢体和左/右半肢体倒置效应)，我们可以发现，虽然研究者对肢体刺激进行了不同程度的操纵，但是其研究结果都有一个共同点，即倒置效应仅存在于头部信息完整保留或部分保留的肢体刺激中。这可能是由于被试在进行肢体姿势辨别任务时主要关注头部区域、依赖头部姿势信息。因此，相对于胳膊或腿部缺失，头部缺失对肢体辨别的影响更大。这一推测也得到了眼动技术的支持(Arizpe et al., 2017; Tao & Sun, 2013)。

然而，也有一些研究者得出了不同结果。例如, Soria Bauser 和 Suchan (2013)使用无头肢体图片作为实验材料时，在行为和脑电数据上均发现了显著的倒置效应。Robbins 和 Coltheart (2012)也发现了无头肢体的倒置效应。Tao 等人(2014)则比较了正立和倒置的完整肢体、无头无躯干肢体和乱序肢体的识别成绩和脑电变化，结果发现完整肢体和无头无躯干肢体均表现出了显著的倒置效应。因此，他们认为肢体的一阶信息决定了其倒置效应，而不是头部或躯干的作用。关于该实验结果与前人结论的不一致，Tao 等人(2014)将其归结为文化差异和实验材料的差异，具体来说，Tao 等人研究的是中国(亚洲)被试，并且他们采用的是 3D 肢体模型图片，与大多数前人采用的面孔信息模糊化处理的灰度级真实肢体图片有所区别。

综合前人研究，我们认为关于头部信息有两点需要明确：第一，前人通过比较完整肢体和无头肢体进而探讨头部信息的作用，这些都是对头部轮廓信息存在与否的操纵。但是除了头部轮廓信息，完整肢体刺激的头部信息还应包括头部姿势信息。当头部姿势不一致时，人们也能分辨出两个肢体间的差异。对此，仅有 Yovel 等人(2010)的行为实验进行了操纵研究；第二，无头肢体刺激与 Yovel 等人(2010)实验 3 中的无胳膊肢体或无腿肢体刺激并不能简单地划分到“不完整刺激”的范围内。因为，在现实生活中，存在个体失去胳膊或腿的情况，然而失去头部的个体却是不可能存在的，或者说是非现实的。因此，研究者将这种非现实刺激(无头肢体)与可能现实刺激(无胳膊或无腿肢体)同作为“不完整刺激”放在一起比较是不合适的，这容易使人忽略无头肢体之所以导致不同倒置效应的真实原因。综上所述，有关头部信息在肢体倒置效应中的作用仍存在一定的分歧和争议，而有关问题的解决还有待未来的进一步研究。

3 肢体倒置效应的理论解释

大多研究者比较一致地认为，倒置效应是构形加工的一种标志。构形加工是指对构形信息的加工，其主要想表达出“结构”与“形状”的综合含义(汪亚珉，黄雅梅，2011)。Gauthier 等人(1997; 1998)认为，构形加工方式可能最适合于人们经常遇到的对象，它们共享高度的结构相似性，即在同类对象之间具有很小的区别，并且需要快速准确的专家识别。因此，这就可以说明为什么构形加工对面孔和肢体姿势要比对其他物体重要。简而言之，之所以会产生面孔和肢体姿势倒置效应，是因为人们在识别正立面孔和肢体采用的是构形加工方式，而倒置破坏了这一过程，最终导致了识别成绩的下降。目前为止，肢体倒置效应比较常用的解释是 Maurer 等人提出的构形加工理论(Maurer et al., 2002)和 Reed 等人提出的构形加工连续量理论(configural processing continuum theory) (Reed et al., 2006)，这两种理论都肯定了构形加工在倒置效应产生中的作用，但对于构形加工所包含的子成分，这两种理论还存在一些分歧。

3.1 构形加工理论

Maurer 等人(2002) 基于面孔倒置效应，提出了构形加工理论。他们认为个体是识别面孔的专

家，而这种能力归因于对面孔的构形加工方式上。构形加工过程不仅包括对个体特征形状的加工，还包括对各种特征之间关系的加工。因此，构形加工可以划分为三种类型：一阶信息加工(first-order relation processing)、整体加工(holistic processing)和二阶信息加工(second-order relation processing)，并且倒置可以影响构形加工的每一种类型。其中，一阶信息加工和二阶信息加工都属于构形加工中“对各种特征之间关系的加工”。

一阶信息是指刺激各组成部分之间的相对位置关系。例如，就肢体而言，胳膊和躯干相对于双腿是在其上面，两只胳膊分别位于躯干两侧。研究者一般选择打乱肢体各组成部分之间的正常相对位置关系，以此来操纵肢体刺激的一阶信息，并且发现：当被试在识别一阶信息遭到破坏的乱序肢体时，其识别正立肢体的成绩明显下降，并且不产生显著的倒置效应(Reed et al., 2006; Soria Bauser & Suchan, 2013)。这说明一阶信息加工对正立肢体识别而言非常重要，该观点在一些使用仅保留一阶信息肢体刺激作为实验材料的研究(Tao et al., 2014)中得到了支持。此外，Brandman 和 Yovel (2016)提供了有关肢体构形神经机制的第一个证据，他们通过实验分析比较一阶信息完善的完整肢体和无一阶信息的乱序肢体的脑激活情况。结果发现，无论头部信息存在与否，与乱序肢体相比，EBA 和 FBA 都对完整肢体表现出更大的反应。

整体加工是指人们倾向于将肢体当作一个整体加工，这也使得人们对肢体局部特征的加工变得比较困难。该观点的直接证据主要来自于“合成效应(composite effect)”和“部分-整体识别效应(part-whole recognition effect)”。前者是指当合成肢体的上下或左右部分来自不同个体时，人们对上下或左右部分有所分开的合成刺激的识别成绩要显著优于紧密融合在一起的(Willems, Vrancken, Germeys, & Verfaillie, 2014)。这显示，当合成肢体紧密融合时，它们的内部特征信息便紧密结合在了一起，因此被试对局部特征的加工将受到整体信息加工的影响；后者是指肢体的局部特征在整体情境中的识别好于单独呈现(Harris, Vyas, & Reed, 2016; Rezlescu, Susilo, Wilmer, & Caramazza, 2017; Tanaka & Farah, 1993)，这也表明在肢体识别中存在着与局部特征加工相对应的整体信息加工。

二阶信息是指刺激各组成部分之间的精确空间距离，例如，双眼之间或两只胳膊之间的距离。一些研究证明(Le Grand, Mondloch, Maurer, & Brent, 2001; Haig, 2013)，当改变面孔内部特征之间的距离时，人们可以很快地觉察出这些变化甚至是接近视敏度的细微改变，但是当面孔倒置时，人们则很难做到这一点。同时，二阶信息在肢体知觉中的作用还未得到考察，这可能是由于与面孔相比，肢体各组成部分之间可能的距离变化幅度和变化空间都要更大，因此在实验研究中不好控制。基于这个问题，我们认为在未来研究中，研究者可以在控制两个胳膊与躯干之间的角度、两条腿与垂直中线之间角度的基础上，试着操纵肢体刺激的肩宽、脖子与头部之间的长度比例等等来考察二阶信息在肢体识别加工过程中的作用。具体可探究问题有：当肢体倒置时，个体能否识别出二阶信息的变化？当倒置肢体二阶信息的变化在什么范围内时，个体就不能识别出其变化？这些问题都需要在未来研究中寻找答案。

3.2　构形加工连续量理论

Reed 等人(2006)在研究肢体倒置效应时对 Maurer 等人的构形加工理论进行了发展，并提出了“构形加工连续量”的概念。在这一概念中，特征加工(featural processing)和构形加工并不是完全对立的。特征加工(或局部加工)与构形加工分别位于一个连续量上的两端，中间分别存在一阶信息加工、结构信息加工(structural information processing)和二阶信息加工三个点。

首先，位于构形加工连续量一端的“特征加工”也被称为部分加工(part processing)、成分加工(componential processing)、零碎加工(piecemeal processing)或分析加工(analytic processing)。人们对很多物体的识别并不依赖于对物体各组成成分之间空间关系的加工，而是取决于对其各部分特征及形状的加工(Cave & Kosslyn, 1993)，并且这些特征需具有凸显性和可辨别性。例如，房屋被认为是基于部分和特征识别的一类物体。Cabeza 与 Kato 的研究(2000)表明，构形加工与特征加工在面孔识别中都很重要，是面孔识别的两种基本加工方式。基于面孔和肢体在很多物理属性和社会属性上的相似性(de Gelder et al., 2010)，我们可以延伸认为，构形加工与特征加工在肢体识别中也都重要。

其次，一阶信息加工虽然涉及刺激各组成部分之间相对位置关系的加工，但其对于定义整个刺激的结构层次来说还不够充分。除“一阶信息”之外，物体特定成分在物体整个结构层次中的相对位置信息也非常重要，Reed 等人(2006)将这种信息称之为“结构信息”。例如，对于肢体刺激来说，躯干不仅位于下肢的上面，也位于整个肢体的中间，此类信息就决定了肢体的整体层次结构。可以说，“结构信息”概念是对“一阶信息”概念的进一步深化，它的提出拓展了我们对构形加工过程中 “对个体各特征之间关系的加工”这部分内容的了解。在未来研究中，我们可以通过操纵肢体刺激的结构信息来探究其在肢体倒置效应及肢体识别过程中的作用。其中，对刺激材料的操作可以是：保留胳膊与躯干、躯干与下肢之间的相对位置关系(即保留一阶信息)，改变上半身与下半身之间的长度比例，如操控上半身，使其只占整个肢体的四分之一，此时躯干就不再位于整个肢体的中间。Reed 等人(2006)认为，“结构信息加工”要比“一阶信息加工”在构形加工连续量上的位置更远，再远一点就是“二阶信息加工”。

最后，位于构形加工连续量另一端的是“整体模板加工”。整体模板加工是指人们基于一致化模板来识别物体，类似于通过将物体与单一心理表征进行比较从而识别对象(所有部分和细节需匹配)。例如，肢体各部分特征、各特征之间的空间关系、特征之间的相对距离、特征与整个肢体情景的关系等信息都被嵌入在一致化模板中，肢体识别加工涉及个体接受到的刺激信息与这一模板之间的比较。针对肢体识别是否需要完整模板信息输入，Reed 等人(2006)在其实验 3 中进行了研究。其中，他们比较了一半肢体(包括以水平轴分割的上/下半肢体和以垂直轴分割的左/右半肢体)与完整肢体的倒置效应。其中，上/下半肢体、和左/右半肢体均保留了适当的一阶信息和二阶信息。不同的是，由于肢体是左右半对称的，所以左右半肢体还保留了部分模板信息。实验结果发现，不仅完整肢体产生了倒置效应，以垂直轴分割的左/右半肢体也产生了显著的倒置效应。这说明，基于完整模板信息的整体加工对于肢体识别来说不是必需的。因此，Reed 等人(2006)认为肢体识别的整体加工过程不要求完整的模板信息，部分模板信息(如，保留头部姿势信息的不完整肢体)也能激活人们对肢体刺激的整体加工。

综上我们可以发现，这两种理论在有关构形加工的子成分方面，均肯定了一阶信息和二阶信息的作用。不同的是，Reed 等人(2006) 基于这两种子成分，在构形加工连续量理论中进一步提出了“结构信息”的概念。另外，在构形加工理论中，Maurer 等人(2002)并未对“部分加工”进行论述，而在构形加工连续量理论中，Reed 等人(2006)则明确说明了依赖部分信息的识别加工过程与构形加工过程相互独立，但同时也肯定了两者在面孔识别和肢体识别(如，身份识别)的作用。然而值得思考的是，“整体加工”的直接证据并非源于倒置效应，因此在这两个理论中，研究者将“整体加工”的概念放在“构形加工”的概念之下似乎缺乏一定的说服力。并且在近期一项研究中，Rezlescu 等人(2017)通过使用剑桥面孔识别测验，探讨了面孔倒置效应、合成脸效应、部分-整体效应这三种现象所反映的面孔知觉机制——整体加工。结果发现这三者之间不存在联系，并且仅只有面孔倒置效应有效预测了被试的面孔识别。因此，研究者认为这三者分别反映了不同的面孔知觉机制。这似乎可以说明构形加工与整体加工之间没有直接关系。但是，由于没有更多的证据支持，并且肢体识别与面孔识别过程并不完全相同，因此这些问题都有待未来研究的进一步探讨。

4 总结与展望

肢体倒置效应的发现不仅拓展了物体识别这一领域，而且有益于人们从新的角度来看待人类如何加工肢体。近十五年来，研究者们使用不同类别的刺激材料，对经典的肢体倒置效应进行了验证，并且运用各类新近技术从脑的角度出发，不断探究其认知神经机制，丰富了人们对于一些特异性脑区的理解和认识(如，EBA, FBA, FFA)。同时，部分研究者开始更加细致地探索头部信息在这一效应中的作用，但此类实验结果仍存在争议。其中，有关头部姿势信息与头部轮廓信息的概念与意义需要在未来研究中进行更深入的探究。而其理论解释主要从面孔加工引申而来，这也从某种程度上说明了与面孔类似，人类同样具有对肢体这一特殊物体的专家识别能力(陶维东，孙弘进，张旭东，郑剑虹，2011)。但是其理论解释尚不完善，有关肢体识别构形加工的概念及其子

成分仍存在分歧。总之, 关于肢体倒置效应还存在一些尚待解决的问题以及未来可研究的方向:

(1)拓展肢体倒置效应在特殊人群中的研究。如前文所述, 肢体倒置效应具有一定的跨刺激类型一致性和较强的稳定性, 而这为其在特殊群体中的应用提供了基础。有研究者应用肢体倒置效应去探讨特殊群体的肢体加工是否存在缺陷或者存在哪些缺陷, 这为我们考察肢体加工的内在机制提供了更为独特的思路。如: ASD 患者对正常肢体能够表现出完整的构形加工(Cleary, Looney, Brady, & Fitzgerald, 2014; Reed et al., 2007), 这为改善 ASD 患者的肢体知觉和人际交流提供了具体依据; 获得性面孔失认症患者(acquired prosopagnosics, AP)表现出了显著的肢体倒置效应, 能保持正常的肢体知觉(Susilo, Yovel, Barton, & Duchaine, 2013), 但在发展性面孔失认症群体(developmental prosopagnosia, DP)中却未发现该现象(Righart & de Gelder, 2007; Rivolta, Lawson, & Palermo, 2016)。而这可能是由于, FFA 和 FBA 存在着一定的功能定位重叠(overlap) (Kanwisher, 2010)。换言之, 无论对于 AP 患者还是 DP 患者, 当梭状回受损时, 这种功能重叠将带来肢体加工损伤的不确定性。当然, 未来研究还需要加大此类实验的样本量。此外, 基于肢体倒置效应, 一些研究表明, 当个体对自身的内省知觉(introspective perception)发生紊乱时, 也会导致一定的肢体加工损伤。如, 神经性厌食症患者(anorexia nervosa)对自己肢体外形的强迫性担忧和对肢体细节的过分关心诱发了一定的肢体构形加工障碍(Urgesi et al., 2014); 最近, 一项使用 ERP 技术的实验也发现, 肢体图片诱发女性进食障碍者产生了更早的 P1 和 N1, 即更快的视觉编码(Groves, Kennett, & Gillmeister, 2017)。总之, 这些研究提示我们, 肢体倒置效应或许可以作为一种潜在的、更为客观的诊断指标和参考。

(2)继续考察头部信息在肢体倒置效应中的作用。首先, 我们需要明确无头肢体刺激是否确实会引起肢体倒置效应的反转或者消失? 如果无头肢体刺激确实表现出肢体倒置效应的反转或者消失, 这是否与无头肢体刺激属于非现实刺激有关? 如果没有出现上述现象, 那么这是由于刺激材料的不一致, 还是文化差异所致? 另外, 头部信息包括头部轮廓信息和头部姿势信息两个方面。这两个方面信息的改变对肢体倒置效应及肢体识别是否都产生影响? 这一系列的问题都需要在未来研究中得到回答和验证。

(3)明确肢体构形加工的子成分及其脑机制。如前所述, 整体加工与整体模板加工的直接证据都不是来自肢体倒置效应, 并且 Rezlescu 等人(2017)的研究结果也从另一角度证明了倒置效应所反映的构形加工过程与合成脸效应或部分−整体效应所反映的整体加工过程不存在直接关系。因此, 我们认为两者之间是否属于包含关系还有待证实。此外, 现有研究中仅有 Brandman 和 Yovel (2016)对构形加工子成分(一阶信息)的脑机制进行了初步探索。然而, 构形加工理论和构形加工连续量理论所涉及到的子成分还有很多, 未来有必要将该领域的理论解释和其脑机制研究更加地紧密联系起来, 促进人们对于肢体识别加工的理解。

(4)应用更具生态效度的刺激类型探讨单人及多人肢体倒置效应。现有肢体倒置效应的研究大多使用单个肢体刺激, 然而在现实生活中, 人们往往需要同时接受多个对象的信息输入, 彼此之间可能存在着互动场景, 并且这一过程是动态的。在该方面, Papeo, Stein 和 Soto-Faraco (2017)开展了相关实验, 其研究结果发现了“双人肢体倒置效应”, 即倒置的面对面(互动)双肢体的识别成绩显著低于其正立状态, 而正立和倒置的背对背(非互动)双肢体的识别成绩无显著差异。其认为, 此现象说明了人们对互动双肢体的加工方式类似于单人肢体加工中的构形加工, 即将之知觉为一个功能整体, 而对非互动双肢体的加工方式类似于部分加工。然而, 值得注意的是, Papeo 等人(2017)的实验设计中目标刺激仅呈现 30 ms, 属于阈下加工过程, 但是以往大多数倒置效应研究中的刺激呈现时间为 250 ms (Minnebusch et al., 2009; Reed et al., 2003; Reed et al., 2006; Tao et al., 2014), 涉及的是阈上加工。因此, Papeo 等人(2017)用基于阈上加工过程提出的构形加工理论去解释其结果可能存在着一些不足, 未来研究可以使用经典倒置效应范式去研究双人或多人互动肢体加工。另外, 相较于静态图片, 动态刺激材料更具有生态效度。综上, 我们可以应用生态效度更好的刺激材料去探究单人及多人肢体倒置效应及其理论解释。

参考文献

陈丽, 李伟霞, 张烨, 张庆林. (2015). 躯体知觉的认知神经机制. *心理科学, 38*(1), 85−92.

范聪, 陈顺森, 张灵聪, 罗文波. (2014). 身体表情加工的神经机制. *心理学进展, 4*(3), 506−514.

陶维东, 孙弘进, 张旭东, 郑剑虹. (2011). 非面孔物体倒置效应形成过程的认知神经机制. *心理科学进展, 19*(8), 1104−1114.

汪海玲, 傅世敏. (2011). 面孔倒置效应的研究与理论述评. *心理科学进展, 19*(11), 1588−1594.

汪亚珉, 黄雅梅. (2011). 面孔识别中的构形加工与特征加工. *心理科学进展, 19*(8), 1126−1137.

Arizpe, J. M., Mckean, D. L., Tsao, J. W., & Chan, A. W. Y. (2017). Where you look matters for body perception: Preferred gaze location contributes to the body inversion effect. *PLoS ONE, 12*(1), e0169148.

Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & Mccarthy, G. (2009). Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience, 8*(6), 551−65.

Brandman, T., & Yovel, G. (2010). The body inversion effect is mediated by face-selective, not body-selective, mechanisms. *The Journal of Neuroscience, 30*(31), 10534−10540.

Brandman, T., & Yovel, G. (2016). Bodies are represented as wholes rather than their sum of parts in the occipital-emporal cortex. *Cerebral Cortex, 26*(2), 530−543.

Cabeza, R., & Kato, T. (2000). Features are also important: Contributions of featural and configural processing to face recognition. *Psychological Science, 11*(5), 429−433.

Cave, C. B., & Kosslyn, S. M. (1993). The role of parts and spatial relations in object identification. *Perception, 22*(2), 229−248.

Chang, D. H. F., & Troje, N. F. (2009). Acceleration carries the local inversion effect in biological motion perception. *Journal of Vision, 9*(1), 1−17.

Cleary, L., Looney, K., Brady, N., & Fitzgerald, M. (2014). Inversion effects in the perception of the moving human form: A comparison of adolescents with autism spectrum disorder and typically developing adolescents. *Autism, 18*(8), 943−952.

de Gelder, B. (2016). Why bodies? In B. de Gelder (Eds.), *Emotions and the body* (pp. 1−22). New York, US: Oxford University Press.

de Gelder, B., Van den Stock, J., Meeren, H. K. M., Sinke, C. B. A., Kret, M. E., & Tamietto, M. (2010). Standing up for the body. Recent progress in uncovering the networks involved in the perception of bodies and bodily expressions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 34*(4), 513−27.

Gauthier, I., & Tarr, M. J. (1997). Becoming a "Greeble" expert: Exploring mechanisms for face recognition. *Vision Research, 37*(12), 1673−1682.

Gauthier, I., Williams, P., Tarr, M. J., & Tanaka, J. (1998). Training 'greeble' experts: A framework for studying expert object recognition processes. *Vision Research, 38*(15−16), 2401−2428.

Le Grand, R. L., Mondloch, C. J., Maurer, D., & Brent, H. P. (2001). Neuroperception: Early visual experience and face processing. *Nature, 410*(6831), 890.

Groves, K., Kennett, S., & Gillmeister, H. (2017). Evidence for ERP biomarkers of eating disorder symptoms in women. *Biological Psychology, 123*, 205−219.

Haig, N. D. (2013). The effect of feature displacement on face recognition. *Perception, 42*(11), 1158−1165.

Harris, A., Vyas, D. B., & Reed, C. L. (2016). Holistic processing for bodies and body parts: New evidence from stereoscopic depth manipulations. *Psychonomic Bulletin and Review, 23*(5), 1513−1519.

Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2004a). Effects of repetition learning on upright, inverted and contrast-reversed face processing using ERPs. *NeuroImage, 21*(4), 1518−1532.

Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2004b). Face recognition memory and configural processing: A developmental ERP study using upright, inverted, and contrast-reversed faces. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16*(3), 487−502.

Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2004c). N170 or N1? Spatiotemporal differences between object and face processing using ERPs. *Cerebral Cortex, 14*(2), 132−142.

Kanwisher, N. (2010). Functional specificity in the human brain: A window into the functional architecture of the mind. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107*(25), 11163−11170.

Lefaucheur, J. P., André-Obadia, N., Antal, A., Ayache, S. S., Baeken, C., Benninger, D. H., ... Garcia-Larrea, L. (2014). Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). *Clinical Neurophysiology, 125*(11), 2150−2206.

Luck, S. J. (2014). Overview of common ERP components. In S. J. Luck (Eds.), *An introduction to the event-related potential technique* (2 ed., pp. 71-117). Cambridge, Massachusetts: MIT press.

Maurer, D., Le Grand, R., & Mondloch, C. J. (2002). The many faces of configural processing. *Trends in Cognitive Sciences, 6*(6), 255−260.

Minnebusch, D. A., Suchan, B., & Daum, I. (2009). Losing your head: Behavioral and electrophysiological effects of body inversion. *Journal of Cognitive Neuroscience, 21*(5), 865−874.

Mohamed, T. N., Neumann, M. F., & Schweinberger, S. R. (2011). Combined effects of attention and inversion on

event-related potentials to human bodies and faces. *Cognitive Neuroscience, 2*(3-4), 138−146.

Papeo, L., Stein, T., & Soto-Faraco, S. (2017). The two-body inversion effect. *Psychological Science, 28*(3), 369−379.

Peelen, M. V., & Downing, P. E. (2007). The neural basis of visual body perception. *Nature Reviews Neuroscience, 8*(8), 636−648.

Reed, C. L., Beall, P. M., Stone, V. E., Kopelioff, L., Pulham, D. J., & Hepburn, S. L. (2007). Brief report: Perception of body posture-What individuals with autism spectrum disorder might be missing. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 37*(8), 1576−1584.

Reed, C. L., Stone, V. E., Bozova, S., & Tanaka, J. (2003). The body-inversion effect. *Psychological Science, 14*(4), 302−308.

Reed, C. L., Stone, V. E., Grubb, J. D., & Mcgoldrick, J. E. (2006). Turning configural processing upside down: Part and whole body postures. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32*(1), 73−87.

Rezlescu, C., Susilo, T., Wilmer, J. B., & Caramazza, A. (2017). The inversion, part-whole, and composite effects reflect distinct perceptual mechanisms with varied relationships to face recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance,43*(12), 1961−1973.

Righart, R., & de Gelder, B. (2007). Impaired face and body perception in developmental prosopagnosia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104*(43), 17234−17238.

Rivolta, D., Lawson, R. P., & Palermo, R. (2016). More than just a problem with faces: Altered body perception in a group of congenital prosopagnosics. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 70*(2), 276−286.

Robbins, R. A., & Coltheart, M. (2012). The effects of inversion and familiarity on face versus body cues to person recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 38*(5), 1098−1104.

Rossion, B., & Jacques, C. (2008). Does physical interstimulus variance account for early electrophysiological face sensitive responses in the human brain? Ten lessons on the N170. *NeuroImage, 39*(4), 1959−1979.

Shao, H. Y., Weng, X. C., & He, S. (2017). Functional organization of the face-sensitive areas in human occipital-temporal cortex. *NeuroImage, 157*, 129−143.

Soria Bauser, D., & Suchan, B. (2013). Behavioral and electrophysiological correlates of intact and scrambled body perception. *Clinical Neurophysiology, 124*(4), 686−696.

Soria, B. D., & Suchan, B. (2015). Is the whole the sum of its parts? Configural processing of headless bodies in the right fusiform gyrus. *Behavioural Brain Research, 281*, 102−110.

Stein, T., Sterzer, P., & Peelen, M. V. (2012). Privileged detection of conspecifics: Evidence from inversion effects during continuous flash suppression. *Cognition, 125*(1), 64−79.

Stekelenburg, J. J., & de Gelder, B. (2004). The neural correlates of perceiving human bodies: An ERP study on the body-inversion effect. *Neuroreport, 15*(5), 777−780.

Susilo, T., Yovel, G., Barton, J. J. S., & Duchaine, B. (2013). Face perception is category-specific: Evidence from normal body perception in acquired prosopagnosia. *Cognition, 129*(1), 88−94.

Tanaka, J. W., & Farah, M. J. (1993). Parts and wholes in face recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology, 46*(2), 225−245.

Tao, W. D., & Sun, H. J. (2013). Configural processing in body posture recognition: An eye-tracking study. *Neuroreport, 24*(16), 903−910.

Tao, W. D., Zeng, W. X., & Sun, H. J. (2014). Behavioral and electrophysiological measures of the body inversion effect: The contribution of the limb configurations. *Neuroreport, 25*(14), 1099−1108.

Taylor, J. C., Wiggett, A. J., & Downing, P. E. (2007). Functional MRI analysis of body and body part representations in the extrastriate and fusiform body areas. *Journal of Neurophysiology, 98*(3), 1626−1633.

Urgesi, C., Calvo-Merino, B., Haggard, P., & Aglioti, S. M. (2007). Transcranial magnetic stimulation reveals two cortical pathways for visual body processing. *Journal of Neuroscience, 27*(30), 8023−8030.

Urgesi, C., Fornasari, L., Canalaz, F., Perini, L., Cremaschi, S., Faleschini, L., ... Fabbro, F. (2014). Impaired configural body processing in anorexia nervosa: Evidence from the body inversion effect. *British Journal of Psychology, 105*(4), 486−508.

Willems, S., Vrancken, L., Germeys, F., & Verfaillie, K. (2014). Holistic processing of human body postures: Evidence from the composite effect. *Frontiers in Psychology, 5*(7), 618.

Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology, 81*(1), 141−145.

Yovel, G., & Kanwisher, N. (2005). The neural basis of the behavioral face-inversion effect. *Current Biology, 15*(24), 2256−2262.

Yovel, G., Pelc, T., & Lubetzky, I. (2010). It's all in your head: Why is the body inversion effect abolished for headless bodies? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 36*(3), 759−767.

The inversion effect of body recognition

ZHANG Keye[1]; ZHANG Mingming[1]; LIU Tiantian[2]; LUO Wenbo[1]; HE Weiqi[1]

([1] *Research Center of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*)

([2] *College of Education, Shanghai Normal University, Shanghai* 200234, *China*)

Abstract: The studies for body recognition processing often focus on inverted body. And the body inversion effect refers to the fact that the reaction time to identify the inverted body is longer and the correct rate is lower than that to the upright body. Recently, researchers have used a variety of techniques to examine the effect and its configural processing mechanism, in which there are still controversy about the role of head information. In addition, now available body inversion effect mainly concentrated on the configural processing theory and the configural processing continuum theory, however there are still some discrepancies between the two theories in terms of the subcomponents involved in the configural processing. Further researches, with more special populations involved, can focus on the improvements of relevant theories and the specific role of head information, through using materials of high ecological validity.

Key words: body inversion effect; head information; configural processing theory; configural processing continuum theory